

PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda STM32F4 Tabanlı Konum Kontrolü

Ufuk Edem¹, BedirhanŞayakçı¹, H. MetinErtunç¹

¹Mekatronik Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi, İzmit-Kocaeli

{bedirhansayakci}@gmail.com, {ufukerdem0}@gmail.com, {hmertunc}@kocaeli.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, bir DC motorun konum kontrolü, PID ve Bulanık Mantık kontrol yöntemleri kullanılarak gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Sistem girişine farklı referans değerleri uygulanarak, konumdaki değişimlerin istenilen referans değerine getirilmesi amaçlanmıştır. Sistem için gerekli programlama MATLAB-Simulink ortamında Waijung blok setleri yardımıyla geliştirilmiştir ve STM32F4 mikro-denetleyicisinde gerçek zamanda Canon FN38 S modelindeki DC motor üzerinde uygulanmıştır. Sisteme PID kontrol uygulanırken, parametreler Ziegler-Nichols yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Daha sonra sisteme Bulanık mantık kontrolörü uygulanmıştır. PID değerleri ve Bulanık mantık yöntemlerinin deneysel sonuçları karşılaştırılmıştır.

Abstract

In this study, the position control of a DC motor is realized in real time using PID and Fuzzy Logic control methods. By applying different reference values to the system input, it is aimed to bring the changes in position to the desired reference value. The programming required for the system was developed in MATLAB-Simulink environment with the help of Waijung block sets and implemented in real time on the STM32F4 microcontroller in real time on the DC motor of the Canon FN38 S model. While PID control was applied to the system, the parameters were determined using Ziegler-Nichols method. Then, Fuzzy logic controller was applied to the system. PID values and experimental results of Fuzzy logic methods were compared.

1. Giriş

Endüstrinin pek çok alanında hız ve konum kontrolü gereken yerlerde elektrik makineleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Matematiksel modelleri kolay bir şekilde bulunduğundan deneysel çalışmalarda sıkça kullanılan bir endüstriyel araçtır.

Bu tür sistemlerin kontrolünü sağlamak için uzun yıllardan beri kullanılan PID kontrol, Yapısı çok basit olması, ayarlanacak değişken sayısının az olması ve fiziksel gerçeklemenin kolay olması sayesinde çok tercih edilir. PID kontrol sistemleri matematiksel modele ihtiyaç duymasıyla birlikte doğrusal olmayan sistemlerde doğru sonuçlar vermemektedir.

Fakat bulanık mantık kontrol sistemleri ise doğrusal olmayan sistemler üzerinde daha doğru sonuçlar vermektedir. Bunların yanı sıra PID kontrol sistemleri net (0 veya 1) fakat Bulanık Mantık kontrol sistemleri 0 ile 1 arasında doğruluk derecelerine sahiptir. Şekil 1 'de Bulanık Mantık ve Klasik Mantık arasındaki farklar gösterilmiştir.

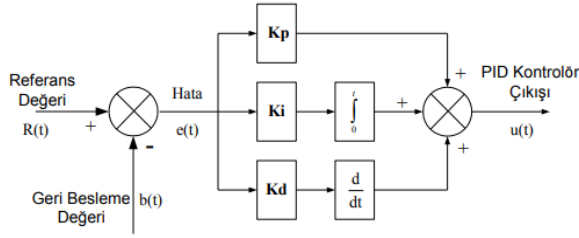
Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A veya A Değil	A ve A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

Şekil 1: Bulanık Mantık ve Klasik Mantık

Bu makalede, Kapalı Çevrim Ziegler-Nichlos yöntemiyle PID parametrelerimizi ayarlayıp, Bulanık Mantık yöntemi ile karşılaştırma yapmış olduk. Bu karşılaştırmamızı STM32F4 ile gerçek zaman uygulaması haline getirip DC motorun gerçek zamanda konum tepkilerini gözlemledik.

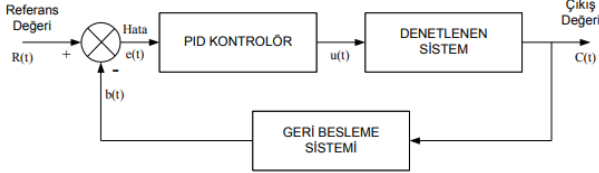
2. PID Kontrolör

PID kontrolörleri oluşturan kısımların her biri birer katsayı ile yönetilirler. Bu katsayılar(K_p, K_i, K_d) her bir sistem için ayrı değerler almaktadırlar.



Şekil 2: PID kontrolün Blok Diyagramı

Bu blok diyagramından da görüldüğü gibi PID kontrolün yapısını oransal kazanç, integral alıcı ve türev alıcı devrelerin birleşiminden oluşmaktadır. PID kontrolör kullanılarak kontrol edilen sisteme ait blok diyagram Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: PID kontrollü Sistemin Blok Diyagramı

2.1 PID Kontrolün Özellikleri

PID kontrolü oluşturan oransal, integral, türev kazançlarının her biri sistemin çalışmasına çeşitli şekillerde etki etmektedir. Oransal kontrolör, yükseliş zamanının azalmasına etki eder ancak sürekli rejim hatasını ortadan kaldırmada asla etkili değildir. İntegral kontrolör, sistemin sürekli rejim hatasını ortadan kaldırır fakat geçici rejim cevabını kötüleştirebilir. Türev kontrolörü, sistemin kararlılığını artırır, aşımını azaltır ve geçici rejim cevabını iyileştirir. Kapalı çevrim sisteminde kontrolörün her birinin etkisi (K_p, K_i, K_d) Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: P, I ve D Ayarlarının Bağımsız olarak etkileri

Kontrolör Türü	Kapalı Çevrim Cevabı	Yükseliş Zamanı	Aşım	Yerleşim Zamanı	Sürekli Rejim Hatası
Oransal	K_p	Azalır	Artar	Küçük oranda artar	Azalır
İntegral	K_i	Küçük oranda azalır	Artar	Artar	Büyük oranda azalır
Türev	K_d	Küçük oranda değişir	Azalır	Azalır	Önemsiz değişim

2.2 PID Kontrolün Parametrelerinin Hesaplanması

PID kontrolörler, endüstride kullanılan kontrol türlerinin büyük bir kısmını oluşturur. Dolayısıyla PID kazanç parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Ziegler-Nichols metodu kullanılarak PID parametreleri ayarlanmıştır.

2.2.1 Ziegler-Nichols Metodu

Bu metodu, PID parametrelerinin hesaplanmasında en yaygın olarak kullanılan metottur. Sistem modeli gerektirmeden PID parametrelerini bulabilmemizi sağlar. Açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere ikiye ayrılır. Biz uygulamamızda Kapalı çevrim Ziegler-Nichols metodunu kullanmış olduk.

2.2.1.1 Kapalı Çevrim Ziegler-Nichols Metodu

Sistemin parametrelerini bulmak için integral ve türevsel sabitleri 0 olarak ayarlamak gerekir. Böylelikle sistemde sadece oransal sabit etki eder ve sistemi kararlılık bölgesinde maksimum sürekli salınım yapması gereken oransal sabit değeri ($K_{p_{max}}$) ve bu değerdeki sistemin salınım periyodu (P_u) belirlenir. Ziegler-Nichols modelinde istenilen değerler elde edildikten sonra oransal kazanç (K_p), integral zaman sabiti (T_i) ve türevsel zaman sabiti (T_d) değerleri basit hesaplamalar ile elde edilir.

Tablo 2: Ziegler-Nichols PID Parametreleri

Kontrolör	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{p_{max}}$	-	-
PI	$0.45K_{p_{max}}$	$0.825P_u$	-
PID	$0.6K_{p_{max}}$	$0.5P_u$	$0.125P_u$

Tablo 2 referans alınarak, istenilen verileri elde ettikten sonra integral sabiti (K_i) ve türevsel sabiti (K_d) değerlerini hesaplamak için Denklem 1 ve 2'den yararlanılır.

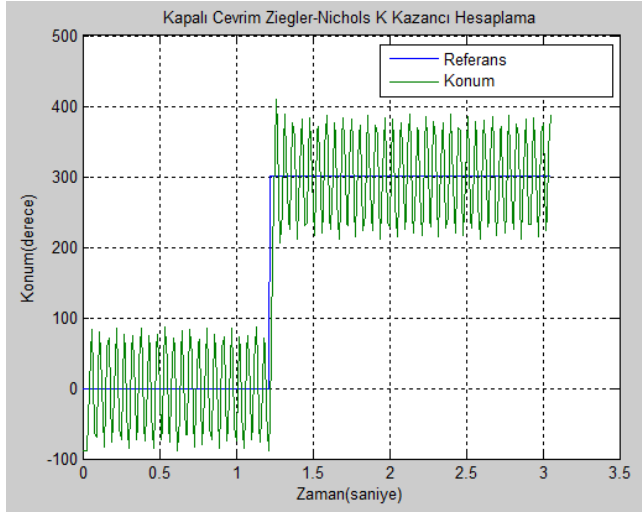
$$K_i = \frac{K_p \cdot T}{T_i}$$

(1)

$$K_d = \frac{K_p \cdot T_d}{T}$$

(2)

Buradaki T değeri gerçek zamanlı sistemin örnekleme zamanı (T_s) değeridir.

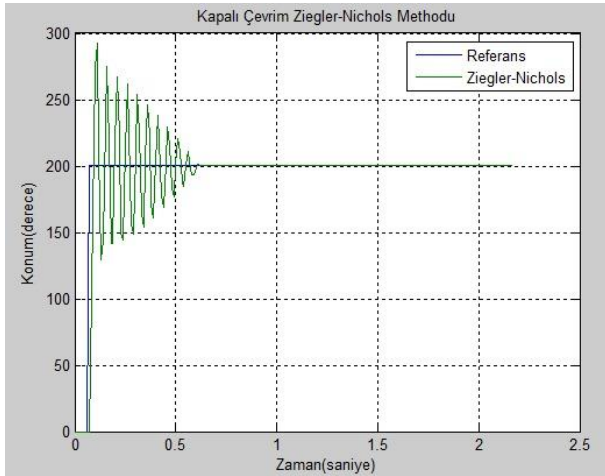


Şekil 4: DC Motorun Kritik K Kazancının Hesaplanması

Şekil 4'te gerçek zamanlı sistemde kritik K_p kazancının bulunması için oransal sabit yavaş yavaş artırılmış ve $K_{p_{max}}$ değeri 1.5, P_u değeri ise 0.06s olarak bulunmuştur. Tablo 2'den yararlanılarak PID katsayıları hesaplanmıştır.

Tablo 3: Ziegler-Nichols PID Parametrelerinin Belirlenmesi

K_p	T_i	T_d
0.9	0.03	0.0075
K_p	K_i	K_d
0.9	0.3	0.675

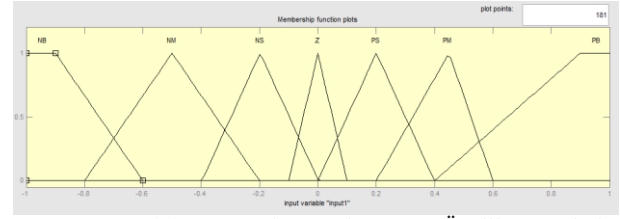


Şekil 5: Ziegler-Nichols Metodu ile Bulunan katsayıların Sistem Üzerindeki cevabı

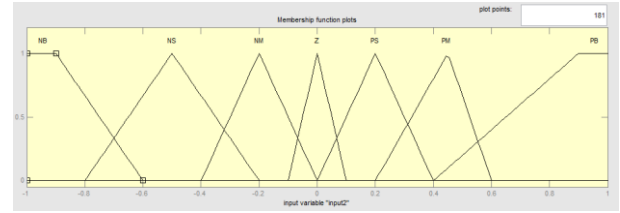
3. Bulanık Mantık

Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında öne sürülen ve 1970'li yıllarından sonra pratik uygulamalarda sıklıkla kullanılan bulanık mantık, kontrol yöntemlerinden biridir. Klasik mantık 0 ve 1 gibi kesin değerlerle sınırlanırken, bulanık mantık farklı olarak 0-1 aralığında ki sonsuz değerleri dikkate almaktadır. Bulanık mantığın bir problemi çözerken kullandığı yaklaşım bir insanın herhangi bir problemi çözerken kullandığı

yaklaşımına benzetilebilir. Çünkü her ikisi de dilsel kurallar kullanılır.



Şekil 6: Bulanık Mantık Hata(e) Üyelik Değerleri



Şekil 7: Bulanık Mantık Hata Değişiminin(de) Üyelik Değerleri

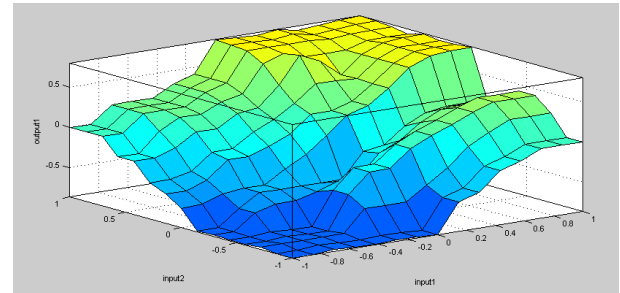
Fonksiyonlar oluşturulurken üçgen fonksiyonları tercih edilmiştir. Bu durum mikrodenetleyicinin hesapsal yükü diğer fonksiyonların kullanımına nazaran azalmıştır. Oluşturulan bulanık üyelik fonksiyonlarında üyelik fonksiyonlarında üçgen fonksiyonları yedi farklı sembolik değerle gösterilmiştir.

NS (Negatif Küçük), NM (Negatif Orta), NB (Negatif Büyük), Z (Sıfır), PS (Pozitif Küçük), PM (Pozitif Orta), PB (Pozitif Büyük).

Tablo 4: Bulanık Mantık kural tablosu

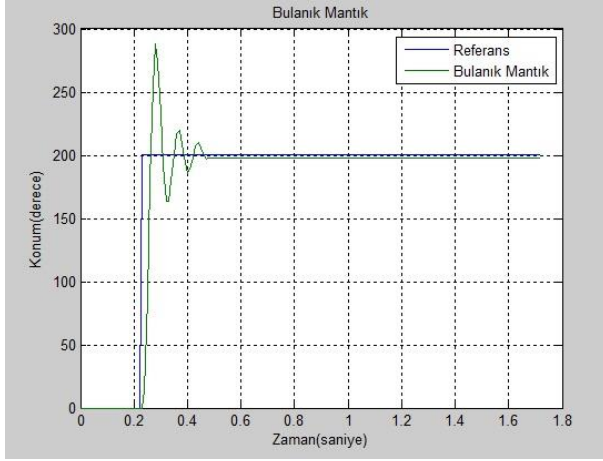
e/de	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
NM	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
NS	NB	NM	NS	NS	Z	PS	PM
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NM	NS	Z	PS	PS	PB	PB
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PM	PB
PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Oluşturulan kural tablosunda "e" parametresi hatayı, "de" parametresi ise hatanın değişimini göstermektedir.



Şekil 8: Bulanık Mantık Surface Sonucu

Bulanık mantık kontrolör tasarımı öncelikle Matlab ortamında FIS Editör aracı ile tasarlanmış daha sonra yine Matlab ortamında waijunc blok setleri ile bulanık mantık aracı birleştirilip kontrol algoritması oluşturulmuştur. Kontrol algoritmasını mikrodenetliyiçiye gömülmüştür.



Şekil 9: Bulanık Mantık Metodu ile Bulunan katsayıların Sistem Üzerindeki cevabı

4.Sonuç

Tablo 5: Ziegler – Nichols PID Response Parameters

Rise Time Response	0,0179
Settling Time Response	2,44
OverShoot	47,0745
Peak	296,25
Peak Time	2,04

Tablo 5: FuzzyLogic Response Parameters

Rise Time Response	0,0199
Settling Time Response	2,22
OverShoot	46,22
Peak	289,8214
Peak Time	2,05

Görüldüğü üzere hesaplanan ve deneysel sonuçlara göre fuzzy logic kontrol Ziegler – Nichols kontrol yöntemine göre daha kararlı çalışmıştır. Bir örnek ile açıklamak gerekirse, referans olarak girilen 200 değeri için Ziegler-Nichols Peak değeri olarak 296, Fuzzy Logic ise 289 Peak değerine ulaşmıştır. Aynı zamanda Fuzzy

Logic Setting time değeri Ziegler – Nichols’a göre daha kararlı durumdadır.

1.1. Referanslar

- [1] “Control System Design.” Karl Johan Aström, 2002.
- [2] S. R. Vaishnav and Z. J. Khan, “Design and Performance of PID and Fuzzy Logic Controller with Smaller Rule Set for Higher Order System,” p. 4, 2007.
- [3] S. Kizir, T. Yaren, and E. Kelekci, *Gerçek Zamanlı Kontrol*, vol. 1, 1 vols. Seçkin, 2019.
- [4] Kiam Heong Ang, G. Chong, and Yun Li, “PID control system analysis, design, and technology,” *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 13, no. 4, pp. 559–576, Jul. 2005.
- [5] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, “Optimum Settings for Automatic Controllers,” *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 115, no. 2B, p. 220, 1993.
- [6] J. J. Cat-berry *et al.*, “McGraw-Hill Chemical Engineering Series,” p. 606.
- [7] B. D. Tyreus and W. L. Luyben, “Tuning PI controllers for integrator/dead time processes,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 31, no. 11, pp. 2625–2628, Nov. 1992.
- [8] S. Chopra, R. Mitra, and V. Kumar, “Fuzzy Controller: Choosing an Appropriate and Smallest Rule Set,” vol. 3, no. 4, p. 8, 2005.
- [9] F. Köse, K. Kaplan, and H. M. Ertunç, “PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda STM32F407 Tabanlı Hız Kontrolü,” p. 6, 2013.
- [10] F. Köse, K. Kaplan, and H. M. Ertunç, “PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda STM32F407 Tabanlı Hız Kontrolü,” p. 6, 2013.
- [11] B. Hamed and M. Almobaied, “Fuzzy PID Controllers Using FPGA Technique for Real Time DC Motor Speed Control,” *Intelligent Control and Automation*, vol. 02, no. 03, pp. 233–240, 2011.
- [12] Sinan Karadeniz, H. Emre Güner, H. Metin Ertunç, “PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda STM32F4 Tabanlı Kontrolü”
- [13] Halit POLAT, Abdullah Demirci, H. Metin Ertunç, “PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda STM32F407 Tabanlı Pozisyon Kontrolü”